УДК 624.131.1:539.16:002.68(571.16)(09)

ИСТОРИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛИГОНОВ ЗАХОРОНЕНИЯ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ СИБИРСКОГО ХИМИЧЕСКОГО КОМБИНАТА

А.А. Зубков, А.А. Лукин*, Е.В. Гусев*, Е.В. Черняев*

Сибирский химический комбинат
*Томский политехнический университет. E-mail: pssuh@yandex.ru

История инженерно-геологического обеспечения подготовки, организации строительства и эксплуатации полигонов захоронения жидких радиоактивных отходов Сибирского химического комбината. В 90-е годы XX века была произведена проверка выбора площадки захоронения отходов, показавшая ее оптимальность.

В марте 1949 г. правительство СССР издало постановление за подписью И.В. Сталина, в котором Минсредмашу ставилась задача «создать закрытый ядерный центр с целью ликвидировать монополию США в ядерном вооружении». Уже в августе 1953 г. был получен первый сибирский обогащенный уран.

Сжатые сроки выполнения ядерной программы СССР потребовали решения в первую очередь технологических вопросов, поэтому в конце 40-х – начале 50-х годов XX века обращение с радиоактивными отходами и охрана окружающей среды оказались отодвинутыми на второй план. Технология обращения с радиоактивными отходами изменялась по мере приобретения опыта и знаний обо всех аспектах поведения малоизученных радиоактивных нуклидов в окружающей среде.

На первых этапах высокоактивные жидкие радиоактивные отходы (ЖРО) хранились в естественных или искусственных прудах-отстойниках или в специальных инженерных сооружениях (стальные баки с многослойными покрытиями, танки и др.), а низкоактивные отходы сбрасывались в открытые водные системы, где происходило их естественное разбавление до безопасных уровней.

Однако в первые же годы эксплуатация таких хранилищ показала высокую опасность применяемых технологий и недопустимость обращения с жидкими радиоактивными отходами, как с обычными промышленными, поскольку при фильтрации из поверхностных хранилищ загрязнялись грунтовые воды, происходило аэрозольное загрязнение территорий, при сбросе в открытые водные системы наблюдалось загрязнение поверхностных водотоков на сотни километров от мест сброса. Не меньше опасностей заключало в себе и хранение ЖРО в специальных емкостях – например, в 1957 г. в Челябинске-65 разогрев отходов в баке привел к парогазовому взрыву большой мощности.

На основании предложений геологов, радиохимиков, нефтяников (в т.ч. академиков А.В. Виноградова, В.И. Спицына, С.А. Вознесенского и др.) решением правительства СССР во второй половине 50-х годов XX века были начаты исследования для обоснования и создания полигонов глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов для четырех предприятий атомной промышленности: Сибирского химического комбината (г. Томск-7), Горно-химического комбината (г. Красноярск-26), ПО «Маяк» (г. Челябинск-65) и НИИ атомных реакторов (г. Димитровград) [1–3].

В связи с увеличивающимся вредным воздействием образующихся радиоактивных отходов на окружающую среду для создания полигонов захоронения были определены весьма сжатые сроки.

Впервые в СССР геологоразведочные работы с целью обоснования подземного захоронения ЖРО были начаты в районе Сибирского химического комбината, расположенного на юго-западной оконечности Западно-Сибирской плиты [4]. Здесь была проведена геологическая съемка, гравиметриче-

ская (Куташов, Лобянкова, 1955) и частично аэромагнитная (Бородин, 1953) съемки масштаба 1:200000, но для расчленения разреза этот материал не мог быть полезным. Поэтому в 1958 г. геологической партией Новосибирского территориального геологического управления, в последующем переданной в состав Всесоюзного гидрогеологического треста (позже – Второе геологическое управление, ГГП «Гидроспецгеология») были начаты специализированные геологоразведочные работы, направленные на изучение площади будущего захоронения отходов. Работы выполнялись геологами – выпускниками различных специальностей геологоразведочного факультета Томского политехнического института А.Т. Ларченко, Р.И. Ларченко, И.И. Тищенко, А.И. Горбуновым, Е.Р. Макаровым, А.В. Базылевым, И.А. Ботевым, В.В. Черновым, В.И. Сорокиным, Ю.Т. Коротковым, А.Н. Щербой и др. В работах принимали участие сотрудники созданной геологической службы Сибирского химического комбината – выпускники ТПУ В.П. Солопов, Л.Ф. Новоселов и А.И. Плотников.

В конце 1958 г. были составлены «Проектные соображения на строительство опытного полигона». Одновременно для Томской гидрогеологической партии были определены план-график работ на 1959 г. В «Проектных соображениях ...» были даны принципиальная схема опытного полигона и технические требования к проходке и оборудованию скважин различного производственного назначения.

Сжатые сроки требовали принятия срочных решений и в условиях слабой изученности района не всегда решения были оптимальны. Например, как впоследствии было отмечено в отчете (А.Т. Ларченко, Р.А. Ларченко, А.И. Горбунов, И.И. Тищенко и др., 1964) «вместо того, чтобы вначале завершить в изучаемом районе региональные геофизические исследования и провести в необходимом объеме поисково-разведочное бурение, партии было предложено производить, по существу, строительные работы – бурение эксплуатационных скважин по проектной схеме. Из-за слабой геологической изученности района первый вариант полигона был выбран таким образом, что примерно 50 % запроектированных по «Проектным соображениям ...» эксплуатационных и наблюдательных скважин попало на площадь глубокого, незамерзающего болота.

В феврале 1959 г. был предложен второй вариант скважин опытного полигона, однако и он оказался неудачным из-за отсутствия во вскрытом интервале коллектора.

С 1957 г. в северо-западной части Томь-Колыванской складчатой зоны с участием сотрудников кафедры геофизических методов поисков и разведки ТПИ (А.А. Федоров и др.) проводили работы электроразведочная и сейсморазведочная партии Новосибирского геофизического треста с целью изучения строения отложений фундамента и MZ-KZ толщи. Срочно были сделаны дополнения к проекту и эти партии были сориентированы, как сказано в отчете, «на решение промышленной задачи» – обоснование выбора площадки для подземного захоронения отходов. После проведения этих работ был обоснован третий, наиболее удачный вариант расположения скважин полигона.

Полученные материалы подтвердили наличие мощной толщи осадочных образований, включающих как коллекторы, так и флюидоупоры, установили относительно слабое распространение в фундаменте тектонических нарушений. В центральной части района буровыми скважинами и сейсморазведкой в фундаменте было выявлено одно предполагаемое крупное тектоническое нарушение типа взброса с приподнятым восточным крылом. Однако детальных сведений о разломе получено не было; по данным сейсморазведки его амплитуда определена в 90 м, а по геологическим данным – в 40–50 м.

Затем было принято решение о проведении более детальных работ, включающих гидрогеологическую съемку масштаба 1:50000, бурение скважин с полным комплексом геофизических исследований, отбором и изучением образцов пород, опытно-фильтрационные работы. Результаты геологоразведочных работ позволили осуществить литологическое расчленение разреза, выделить коллекторские и водоупорные горизонты, обосновать гидрогеологическую схему района и определить напорный режим водоносных горизонтов, уклоны потока и естественные скорости движения подземных вод. В итоге анализа материалов были построены корреляционные схемы и геолого-геофизические разрезы, погоризонтные карты общих и эффективных мощностей горизонтов, водопроводимости, структурные карты кровли и подошвы горизонтов и др. До 1964 г. в районе было пробурено 225 скважин различного назначения. Более подробно методика и результаты геологоразведочных работ охарактеризованы в работах [1–3], здесь же только отметим, что при геологическом изучении площадки для захоронения ЖРО и обосновании ее выбора немалую роль принадлежит выпускникам ТПУ (тогда – ТПИ).

В результате проведения этих работ был создан полигон захоронения технологических отходов СХК, введенный в эксплуатацию в 1963 г., затем хранилища площадок 18 и 18а, введенные в эксплуатацию соответственно в 1967 г. и в 1975 г.

До 1997 г. различными вопросами эксплуатации полигонов занимались геологическая служба отдела охраны окружающей среды СХК и служба эксплуатации полигона, которая относилась к радиохимическому заводу. Эти организации в основном осуществляли контроль за поведением и распространением отходов на полигоне подземного захоронения и в зоне расположения поверхностных хранилищ ЖРО. Здесь работали и работают выпускники геологоразведочного факультета ТПИ – Л.Ф. Новоселов, В.П. Солопов, А.В. Жуков, В.А. Сухоруков, Н.Т. Сухорукова, В.П. Иваненко, Т.Ю. Заведий.

Поскольку работа СХК носила секретный характер и управление комбинатом осуществлялось из центра, до 1991 г. научно-исследовательские работы осуществляли в основном закрытые центральные НИИ. Сотрудничество геологов – сотрудников ТПУ с Сибирским химическим комбинатом началось только тогда, когда город Томск-7 и сам комбинат были рассекречены. В 1991 г. СХК заключил хоздоговор с кафедрой гидрогеологии и инженерной геологии (руководитель С.Л. Шварцев), в 1992 г. к этому сотрудничеству подключилась кафедра геофизических методов поисков и разведки месторождений полезных ископаемых (руководитель Л.Я. Ерофеев). С 1999 г. проведение комплексных геологических и геофизических исследований на территории СХК проводилось Геоцентром ТПУ под руководством Е.В. Черняева.

Кафедра гидрогеологии и инженерной геологии и проблемная научно-исследовательская лаборатория гидрогеохимии ТПУ в 1991–2002 гг. вели на хоздоговорных условиях с СХК гидрогеологические мониторинговые исследования в зоне санитарной охраны комбината.

Основными задачами исследований являлись:

- независимое гидрогеохимическое опробование скважин наблюдательной сети в зонах санитарной охраны объектов и анализ проб на широкий круг показателей состава и свойств воды;
- оценка масштабов загрязнения водоносных горизонтов в районах полигонов и поверхностных хранилищ ЖРО;
- гидрогеохимический прогноз распространения загрязнений в будущем;
- гидрогеодинамическая и гидрогеоэкологическая оценка безопасности взаимодействия полигонов захоронения и поверхностных хранилищ ЖРО с Северскими и Томским водозаборами подземных вод.

В работах участвовали доценты Ю.В. Макушин (отв. исполнитель), М.Б. Букаты, с.н.с. В.А. Зуев, м.н.с. А.Ф. Саблин при активном участии заведующей проблемной лаборатории Ю.Г. Копыловой и сотрудников Р.Ф. Зарубиной, А.Н. Ефимовой, Н.И. Шердаковой, В.М. Марулевой, Л.Н. Алюниной, Н.А. Трифоновой, Н.Г. Наливайко А.А. Хвощевской. С 1992 г. ответственным исполнителем договорных работ был доцент А.А. Лукин. К анализу проб были привлечены сотрудники ядерно-физической лаборатории атомного реактора ТПУ Е.Г. Вертман и А.Ф. Судыко. В работе постоянно принимали участие и студенты, среди которых наибольший вклад внесли И.В. Ярошенко, А.Ю Седельников, И.В. Трусова, С.В. Филимонова.

В результате выполненных исследований были опробованы все наблюдательные скважины зоны санитарной охраны полигонов подземного захоронения и поверхностного хранения ЖРО, а также наблюдательные скважины региональной системы контроля недр (всего около 400 скважин). Уникальность лабораторных исследований проб, выполненных проблемной гидрогеохимической лабораторией, состояла в том, что в них анализировалось порядка двухсот показателей состава и свойств подземных вод. Такой широты изучения качества гидрогеохимической системы на СХК до этого никогда не осуществлялось.

Результаты обработки полученных данных показали, что фронт продвижения радиоактивных отходов от нагнетательных скважин не превысил первые сотни метров и находится в пределах выделенного контура санитарной охраны. Загрязнение подземных вод подстилающих и перекрывающих водоносных горизонтов за счет вертикальных перетоков не было установлено.

Наряду с гидрогеохимическими исследованиями для всех водоносных горизонтов в масштабах от 1:10000 до 1:100000 был построен целый ряд гидродинамических, а также морфоструктурно-гидродинамических карт, которые позволили обосновать два важных положения в оценке экологической безопасности эксплуатации Томского водозабора:

- депрессионная воронка от Томского водозабора не проявляется на правом берегу р. Томи;
- закачанные в недра радиоактивные отходы не могут достигнуть линии эксплуатационных скважин водозабора.

По условиям лицензионного соглашения в выданной СХК лицензии на пятилетнее право недропользования организацией, ответственной за выполнение гидрогеохимического обследования выборочных наблюдательных скважин была определена проблемная гидрогеохимическая лаборатория ТПУ. В 1997–1999 гг. А.А. Лукин построил карты гидроизогипс водоносного горизонта в неоген-четвертичных отложениях и гидроизопьез палеогенового горизонта для проекта обоснования строительства в районе г. Северска атомной станции теплоснабжения (АСТ-500).

К началу 60-х годов XX века в результате геологических, гидрогеологических и мелкомасштабных геофизических исследований были получены данные, говорящие о том, что в районе полигонов захоронения ЖРО между эксплуатационным горизонтом и водоносным комплексом, используемым для хозяйственно-питьевого водоснабжения г.г. Северска и Томска, залегают надежные водоупорные и буферные горизонты. На этом основании в среде специалистов сформировалось мнение, что из-за достаточно большой мощности водоупоров и отсутствия разрывных нарушений в MZ–KZ отложениях возможность перетоков подземных вод из нижних горизонтов в верхние полностью исключена.

В 1992 г. сотрудниками кафедры геофизических методов поисков и разведки МПИ (Е.В. Гусев, Н.Д. Гусева, В.П. Меркулов, С.Ф. Богачев, Г.Г. Зятев, А.А. Никольский и др.) в санитарно-защитной зоне в районе радиохимического завода и одного из поверхностных хранилищ ЖРО с целью изучения

надежности верхнего водоупорного горизонта G, были проведены геофизические работы, включающие метод ВЭЗ и малоглубинную сейсморазведку методом преломленных волн (МПВ) для прослеживания положения уровня грунтовых вод. Кроме того, были проведены опытно-методические работы сейсморазведкой по четырем профилям для оценки ее возможностей при определении качества водоупорного горизонта.

В результате работ были сделаны выводы, что в целом отложения водоупорного горизонта являются более глинистыми и однородными, чем перекрывающие их четвертичные рыхлые образования. Локальные изменения мощности водоупорных горизонтов в сглаженном виде наследуют основные морфологические особенности дневного рельефа. В то же время в качестве наименее надежных участков отмечены три зоны опесчанивания горизонта G (возможные окна фильтации). С точки зрения известных к тому времени геологических представлений отрицалась возможность наличия разрывных тектонических нарушений в отложениях чехла, хотя отмечалось наличие сквозных окон опесчанивания разреза, так же, как и участков сквозной заглинизированности разреза. Эти окна фиксировались как по данным электроразаедки, так и по данным сейсморазведки.

В течение 1995–1997 гг. кафедрой геофизических методов разведки ТПУ (Е.В. Гусев, А.А. Никольский и др.) при тесном сотрудничестве с сотрудниками службы эксплуатации полигона (А.А. Зубков, В.А. Сухоруков, А.В. Жуков, А.В. Копаев и др.) с помощью геофизических методов решались задачи оценки качества противофильтрационных экранов и прослеживания ореолов промышленных загрязнений в районе расположения поверхностных хранилищ ЖРО. Была разработана и опробована методика и технология оценки состояния противофильтрационных экранов для поверхностных хранилищ жидких промышленных отходов любого типа – обычных, радиоактивных, химически агрессивных и др. На одном из пульпохранилищ была выявлена зона протечки глинистого экрана и прослежен ореол распространения загрязнения, что позволило своевременно принять соответствующие методы для его устранения.

В июне 1997 г. разрозненные геологические силы Сибирского химического комбината объединились в составе нового структурного подразделения – лаборатории геотехнологического мониторинга (ЛГТМ). Это предопределило планомерное, целенаправленное изучение геологической обстановки и ее изменений в районе расположения хранилищ ЖРО.

В 1997 г. сотрудниками института «ТомТЭП» (выпускник ГРФ ТПИ А.И. Андронов и др.) при участии специалистов кафедры геофизических методов разведки (А.А. Никольский и др.) проведены комплексные площадные геофизические работы с целью микросейсморайонирования площадки предполагаемого строительства АСТ-500. Комплекс включал в себя малоглубинные ВЭЗы, сейсмозондирование, изучение микросейсм, сейсморазведку для прослеживания структур фундамента и опытные площадные эманационные измерения для трассирования зон трещиноватости. Работы показали эффективность площадной эманационной съемки для прослеживания субвертикальных зон повышенной проницаемости и трещиноватости.

В 1998–1999 гг. институтом ВНИПИЭТ при участии специалистов кафедры геофизических методов поисков и разведки ТПУ (Е.В. Гусев, А.А. Никольский и др.) на территории санитарно-защитной зоны СХК проведены профильная эманационная (радон-тороновая) съемка с радиометрией и двухуровневая магнитная съемки с целью изучения разрывных структур (зон трещиноватости) в верхней части разреза чехла.

По данным эманационной съемки выделены три наиболее крупные геодинамические зоны северо-восточного простирания, однако из-за широкого распространения болот в пределах санитарно-защитной зоны СХК площадная эманационная съемка здесь затруднена.

Для оценки интенсивности фильтрационных процессов на отдельных аномальных участках проведение было рекомендовано проведение измерений методом естественного электрического поля в режиме изучения этого поля по площади и во времени.

Таким образом, за период с середины 60-х до конца 90-х годов XX века на территории деятельности СХК был проведен большой объем геологических исследований, направленных на решение ряда локальных задач, однако обобщающих работ, позволяющих объединить существующую информацию, не проводилось. В сложившейся ситуации геологическая служба СХК в своей работе вынуждена была ориентироваться в основном на материалы, полученные в результате изыскательских работ 60-х годов. Захоронение ЖРО осуществлялось в соответствии с геологической моделью, которую можно назвать упрощенно – стратиграфической. Ее основные положения сводились к следующему:

- разрез рыхлых отложений представляет собой последовательное чередование песчаных и глинистых горизонтов, соответствующих стратиграфическим подразделениям либо их частям;
- породы слабо наклонены на северо-запад, что определяет направление фильтрации поземных вод и ЖРО;
- фациальная изменчивость отложений проявлена слабо и не учитывается при гидродинамическом моделировании;
- дизъюнктивная тектоника на площади не проявлена.

Окончание к этому времени срока действия лицензии на право пользования недрами с целью захоронения жидких радиоактивных отходов, а также решение о продлении сроков эксплуатации глубоких хранилищ путем реконструкции площадок 18 и 18а

позволило Комитету природных ресурсов по Томской области потребовать от геологической службы СХК проведение на территории обобщающих, а затем комплексных геологических и геофизических исследований, направленных на разработку современной структурно-литологической модели захоронения ЖРО, базирующейся на более полном учете разрывной тектоники и фациальной изменчивости отложений. Проведение этих комплексных работ было поручено Геоцентру Томского политехнического университета под руководством Е.В. Черняева. В работах принимали участие сотрудники ТПУ Е.В. Черняев, В.Л. Кошкарев, Е.В. Гусев, Н.Д. Гусева, О.В. Колмакова, А.Ф. Саблин, О.П. Капишникова, А.Ю. Седельников, И.В. Рычкова, В.Г. Житков и др.

В результате проведенных исследований в период 1999–2002 гг. были проведены систематизация, анализ и обобщение фондовых, архивных и опубликованных геологических и геофизических материалов на территории деятельности СХК. Выполнены полевые геофизические работы включающие опытно-методические электроразведочные работы, двустороннее дипольное электропрофилирование (ДЭП) и наблюдения методом ЕП на площади 293 км^2, магнитная съемка на площади 80 км^2, измерения концентрации озона в приземной атмосфере по профилям ДЭП и ЕП в количестве 28 пог. км. На территорию деятельности СХК составлены сводные геологическая, геоморфологическая, геолого-структурная карта и карта структурно-литологических условий захоронения ЖРО масштаба 1:50 000, комплект геологических, структурных, геофизических карт и схем интерпретации масштаба 1:50 000 – 100 000, включающие структурные поверхности, карты изопахит, карты количества ритмов осадконакопления для установленных свит и другие специализирование материалы.

На основе результатов проведенных полевых работ и комплексного анализа геологических и геофизических материалов обоснована структур-

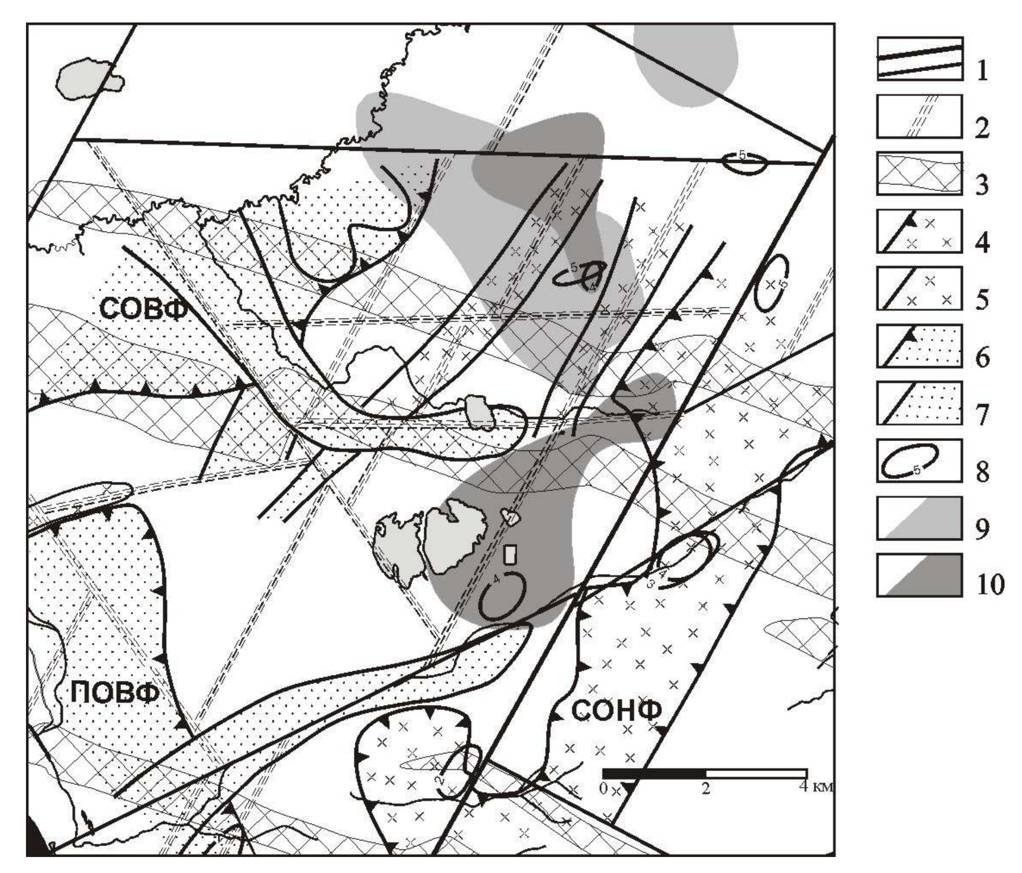


Рисунок. *Карта структурно-литологических условий захоронения ЖРО (по Е.В. Черняеву и др. [2, 4]): 1) разломы; 2) зоны трещиноватости и зоны малоамплитудных разрывов; 3) зоны трещиноватости в отложениях чехла над дайковыми поясами; 4) Северская область нисходящей фильтрации подземных вод (СОНФ), характеризующаяся отрицательными аномалиями ЕП интенсивностью около минус 100 мВ; 5) зоны нисходящей фильтрации, характеризующиеся локальными отрицательными аномалиями ЕП интенсивностью минус 50...75 мВ; 6) Правобережная (ПОВФ) и Самуськинская (СОВФ) области восходящей фильтрации, характеризующиеся положительными аномалиями ЕП интенсивностью для Правобережной зоны около 100 мВ, для Самуськинской зоны) 250 мВ; 7) зоны и участки восходящей фильтрации, характеризующиеся локальными положительными аномалиями ЕП интенсивностью 50...75 мВ; 8) песчаные окна в водоупорных горизонтах, их номера; 9) область максимальных мощностей коллектора К1; 10) область максимальных мощностей коллектора К2*

но-литологическая геолого-геофизическая модель полигона захоронения жидких радиоактивных отходов Сибирского химического комбината. Произведено расчленение стратиграфического разреза, дано геологическое обоснование водоносных комплексов и горизонтов (таблица). Впервые на площади выделены долгоживущие конседиментационные разрывные нарушения и зоны трещиноватости нескольких порядков, структурные блоки и впадины. Определены геологические условия и факторы надежности подземного захоронения жидких радиоактивных отходов [5], рисунок.

Выявлена главная разрывная структура площади – Северский разлом, фрагменты которого были намечены еще в конце 50-х годов XX века. Он простирается в север-северо-восточном направлении и представляет собой зону субпараллельных крутопадающих разрывных нарушений мощностью около 100 м, по которым установлено последовательное ступенчатое погружение висячего бока. Зона Северского разлома представляет собой долгоживущую структуру, сформировавшуюся в верхнем палеозое как взбросо-надвиг и затем развивающаяся как левосторонний сдвиг с амплитудой перемещений около 0,5...2,5 км. В мезозое-кайнозое разлом развивается как кон – и постседиментационный сброс с суммарной амплитудой погружения висячего крыла свыше 100 м. Выделенный разлом определяет не только амплитуды перемещений отдельных стратиграфических горизонтов, но и литологический состав этих горизонтов, их фациальную изменчивость, а отсюда и роль в захоронении отходов [4, 5].

Устойчивое погружение лежачего блока разлома привело к формированию приразломной впадины, которая характеризуется увеличенной мощностью рыхлых отложений, значительной глинистостью мелового разреза и повышенным количеством ритмов осадконакопления. В приразломном блоке увеличивается число ритмов осадконакопления в симоновской свите с 2 до 3–5, а в кусковской свите палеогена – с 1 до 2–3.

Полигон захоронения отходов располагается в этом опущенном крыле Северского разлома в центральной части приразломной впадины. Стратиграфический разрез на полигоне захоронения включает коллекторы достаточной мощности и выдержанные мощные глинистые водоупоры (см. рисунок) [4–7].

К факторам, снижающим надежность захоронения в пределах полигонов захоронения, следует отнести наличие зон трещиноватости субширотного, север-северо-восточного простирания, а также зон трещиноватости над дайковыми поясами, проходящими через всю площадь и, в частности, через центральную часть Приразломной впадины и площадки 18, 18а [4–7].

Таким образом, проведенные исследования позволили сделать главный вывод о том, что произведенный в 60-х годах XX века выбор места захоронения отходов в целом можно считать оптимальным. Расположение полигона в 1...2 км восточнее или в нескольких километрах южнее или севернее современного их местоположения принципиально изменило бы надежность условий захоронения отходов. Площадка попала бы в зоны влияния окружающих разломов с присущими им песчаными окнами, дизъюнктивными нарушениями и мощными зонами трещиноватости пород фундамента и чехла.

Таблица. *Водоносные комплексы и горизонты площадки захоронения ЖРО [4, 5]*

Водоносный комплекс	Водоносный горизонт	Индекс	Водоупорный горизонт	Индекс
Четвертично-верхнеолигоценовых отложений	четвертичных террасовых отложений, кочковской и лагернотомской свит	VI		
			глинистых отложений верхней части новомихайловской свиты	G
Палеогеновых отложений	песчаных отложений атлымской и нижней части новомихайловской свит	V		
			глинистых отложений кусковской свиты	F
	песчаных отложений кусковской свиты	IV a		
			глин люлинворской свиты	E (W_5)
Меловых отложений	песчаных отложений сымской свиты	IV		
	песчаных отложений симоновской свиты	III (K_2)	глинистых отложений симоновской свиты	D (W_4, W_3, W_2)
		II (K_1)		C (W_1)
			глинистых отложений кийской свиты	B
	песчаных отложений кийской свиты	I		
			глинистых отложений илекской свиты и кор выветривания	A_2
	песчаных и гравийных отложений илекской свиты	A_1		
Палеозойского фундамента	зон трещиноватости в сланцах			

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белицкий А.С. Охрана природных ресурсов при удалении промышленных жидких отходов в недра земли. – М.: Недра, 1976. – 145 с.
2. Гидрогеологические исследования для захоронения промышленных сточных вод в глубокие водоносные горизонты. – М.: Недра, 1976. – 145 с.
3. Рыбальченко А.И., Пименов М.К., Костин П.П. и др. Глубинное захоронение жидких радиоактивных отходов. – М.: Изд-во АТ, 1994. – 256 с.
4. Структурные факторы надежности захоронения отходов на полигоне СХК / Черняев Е.В., Кошкарев В.Л., Колмакова О.В. и др. // Вестник Томск. гос. ун-та. Серия «Науки о Земле» (геология, география, метеорология, геодезия): Матер. научн. конф. «Проблемы геологии и географии Сибири», Томск: ТГУ. – 2003. – С. 231–234.
5. Геолого-геофизическая модель Северской площади / Черняев Е.В., Кошкарев В.Л., Колмакова О.В. и др. // Геология, поиски и разведка полезных ископаемых Сибири. Известия ТПУ. – 2002. – Вып. 6. – Т. 305. – С. 414–433.
6. Колмакова О.В. Модель геологического строения Северской площади по геофизическим данным. Геофизические методы при разведке недр и эколог. иссл: Матер. Всерос. конф. Томск: ТПУ. – 2003. – Вып. 2. – С. 288–291.
7. Колмакова О.В. Выделение технологических горизонтов на полигоне СХК геофизическими методами. // Вестник Томск. гос. ун-та. Серия «Науки о Земле» (геология, география, метеорология, геодезия): Матер. научн. конф. «Проблемы геологии и географии Сибири». – Томск: ТГУ, 2003. – С. 144–147.